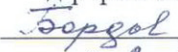


Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Физический факультет
Кафедра астрономии и космической геодезии (кАиКГ)

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГАК

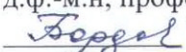
Руководитель ООП
д-р физ.-мат. наук, профессор
 Т. В. Бордовицына
« 2 » июня 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ
ПОДВИЖЕК ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ДАННЫМ ГЛОНАСС-ИЗМЕРЕНИЙ**

по основной образовательной программе подготовки магистров
направление 09.04.02 - Информационные системы и технологии

Палатов Илья Александрович

Научный руководитель ВКР
д.ф.-м.н, профессор
 Т.В. Бордовицына
подпись
« 2 » июня 2017 г.

Автор работы
студент группы № 517м
 Палатов И.А.
подпись

Томск 2017

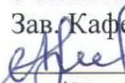
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ТГУ)

Физический факультет

Кафедра астрономии и космической геодезии (АиКГ)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. Кафедрой АиКГ ФФ

 В.А.Авдюшев

«15» сентяб. 2016г.

ЗАДАНИЕ

по подготовке магистерской квалификационной работы
студенту 517 группы ФФ Палатову Илье Александровичу

Тема магистерской квалификационной работы «Численное моделирование задачи определения локальных подвижек земной коры по данным ГЛОНАСС-измерений»

Срок сдачи студентом выполненной квалификационной работы: июнь 2017 г.

1. Исходные данные к работе: данные по начальным орбитальным параметрам объектов системы ГЛОНАСС, методика А.М.Черницова

2. Цель: применение и исследование методики построения граничных поверхностей доверительных эллипсоидов, предложенной А.М. Черниковым.

3. Методы исследования: численное моделирование, построение МНК оценок;

Методы оценки достоверности результатов: сравнение с результатами, полученными другими авторами.

4. Краткое содержание работы

Составление алгоритма определения подвижек земной коры по методике А.М.Черницова – октябрь-ноябрь 2016 г

Программная реализация алгоритма – февраль – март 2017 г

Получение численных результатов, их визуализация и анализ – март – апрель 2017 г.

Написание и оформление работы - апрель – май 2017 г.

5. Указать предприятие или организацию, по заданию которого выполняется работа Томский государственный университет

6. Перечень графического материала: визуализация результатов оценки по методике А.М.Черницова моделируемых смещений земной коры.

Дата выдачи задания «15 сентября» 2016 г.

Руководитель квалификационной работы
профессор Томского государственного
университета, д.ф.-м.н.



Т.В.Бордовицына

Задание принял к исполнению



И.А.Палатов

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация 33 с., 21 рис., 5 табл., 5 источников.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПОДВИЖЕК ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ДАННЫМ ГЛОНАСС-ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы – исследованию методики, предложенной А.М. Черницовым, для определения малых смещений земной поверхности с использованием ГЛОНАСС /GPS измерений.

Методика определения подвижки точки на Земной поверхности состоит в выявлении смещений граничных поверхностей доверительных эллипсоидов, построенных по координатам, вычисленным по ГЛОНАСС/GPS измерениям. Поправки в координаты вычисляются методом Гаусса–Ньютона по разностям измененных и вычисленных расстояний. Измеренные расстояния моделируются с использованием тройных разностей измеренных величин.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Постановка задачи	4
2. Данные альманаха ГЛОНАСС и их использование	5
3. Алгоритм задачи двух тел	6
4. Проверка попадания КА ГЛОНАСС в зону видимости со станции.	8
5. Моделирование наблюдений.....	9
6. Уравнения для определения поправок в координаты неизвестного пункта.	11
7. Алгоритм определения НК оценок для поправок в координаты неизвестного пункта.....	12
8. Алгоритм построения граничных поверхностей доверительных эллипсоидов.	14
9. Описание результатов численного эксперимента.....	15
Заключение.....	32
Список используемой литературы	33

Введение

Создание глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), таких систем как GPS\ГЛОНАСС дало возможность определять координаты наземных пунктов достаточно точно, что значительно повлияло на область решение задач локальной геодинамики, например, определение сдвигов верхних слоев Земли, из-за природных явлений. На данный момент точность измерения систем GPS\ГЛОНАСС составляет 5м/5-10м соответственно.

ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система), которая была разработана советскими инженерами по заказу Министерства обороны. Система разрабатывалась в военных целях, но вскоре стала общедоступной.

Данная система состоит из 24 спутников, которые движутся в трех орбитальных плоскостях над поверхностью Земли и имеют следующие параметры:

- 1) Наклон орбитальных плоскостей $64,8^\circ$
- 2) Высота над поверхностью Земли 19100 км.

GPS (англ. Global Positioning System — система глобального позиционирования), разработанная Министерством обороны США. Эта система также доступна в гражданских целях. GPS имеет следующие параметры:

- 1) Высота над поверхностью Земли 20200 км.
- 2) Наклон орбитальных плоскостей 55°

1. Постановка задачи

Целью данной работы является исследование алгоритма определения малых смещений земной поверхности с использованием ГЛОНАСС /GPS измерений. Для достижения данной цели были реализованы следующие задачи:

1. Реализованы алгоритмы:
 - Алгоритм задачи двух тел (ЗДТ).
 - Алгоритм проверки попадания КА ГЛОНАСС в зону видимости со станции.
 - Моделирование наблюдений по вычисленным расстояниям от спутников ГЛОНАСС до базовых станций и неизвестного пункта в определенные моменты времени
 - Составление тройных разностей наблюдаемых величин.
 - Определение координат неизвестного пункта по методу Гаусса–Ньютона.
 - Построения граничных поверхностей доверительных эллипсоидов по методике А.М. Черницова.
 - Определение и визуализация смещений определяемой точки.
2. Проведение численного эксперимента с использованием трех опорных пунктов.

2. Данные альманаха ГЛОНАСС и их использование

Эфемериды по данным альманаха КНС ГЛОНАСС

NS	Дата	T Ω	Toб	e	I	L Ω	ω	δt2	nl	ΔT
01	13.06.15	36431.75	40543.68	0.00042	64.19356	-159.32751	-39.589233	1.5258789E-4	1	3.0517578E-4
02	13.06.15	1052.9375	40543.93	0.00164	64.66752	-11.279182	-116.35071	-1.373291E-4	-4	0.0
03	13.06.15	6147.2812	40543.91	0.00162	64.498604	-32.435074	-110.64331	-4.196167E-5	5	0.0
04	13.06.15	11300.8125	40543.934	0.00075	64.51817	-54.059772	-106.26526	-1.2207031E-4	6	1.2207031E-4
05	13.06.15	16271.219	40543.867	0.00013	64.18137	-75.14906	32.579956	-3.8146973E-6	1	1.8310547E-4
06	13.06.15	21568.0	40543.953	0.0007	64.175705	-97.284454	161.50452	-6.866455E-5	-4	1.2207031E-4
07	13.06.15	26479.844	40543.934	0.00142	64.5065	-117.35733	-109.57764	1.2207031E-4	5	1.8310547E-4
08	13.06.15	31441.781	40543.906	0.00203	64.51371	-138.10622	-81.05713	2.2888184E-5	6	1.8310547E-4
09	13.06.15	34982.438	40543.97	0.00235	64.98663	-32.60811	25.202637	-3.8146973E-6	-2	6.713867E-4
10	13.06.15	39880.438	40544.055	0.00183	65.77937	-52.84973	150.1886	-1.5258789E-5	-7	6.1035156E-4
11	13.06.15	4399.5938	40544.008	0.00174	65.39708	94.86746	9.61853	-7.6293945E-6	0	9.1552734E-4
12	13.06.15	9592.5625	40543.97	0.00357	64.984924	73.49167	160.19165	-7.6293945E-6	-1	8.544922E-4
13	13.06.15	14768.6875	40544.008	0.00086	65.38403	51.503906	96.89392	4.8446655E-4	-2	6.713867E-4
14	13.06.15	19911.281	40544.17	0.00179	65.764435	30.5262	148.62305	-1.7929077E-4	-7	6.1035156E-4
15	13.06.15	24501.562	40543.66	0.00212	65.76272	11.336689	-1.2469482	-4.5776367E-5	0	7.324219E-4
16	13.06.15	30119.062	40544.05	0.00228	64.968094	-12.343998	141.77856	-3.8146973E-6	-1	6.713867E-4
17	13.06.15	31914.125	40543.33	0.00176	65.18611	101.45616	-1.5161133	-2.2888184E-5	-6	-0.0012207031
18	13.06.15	37999.53	40544.008	0.00165	64.979256	74.99714	-16.660767	-5.340576E-5	-3	-0.0012207031
19	13.06.15	2960.3438	40543.78	0.00014	65.20018	-137.79808	-19.819336	1.2588501E-4	3	-0.001159668
20	13.06.15	8061.4375	40543.875	0.00131	65.21254	-159.05336	-10.541382	1.7547607E-4	2	-0.001159668
21	13.06.15	12736.6875	40544.07	0.00039	64.91832	-179.39095	-172.11731	-1.5258789E-5	4	-0.001159668
22	13.06.15	17752.0	40544.227	0.00305	65.10715	159.59375	-2.345581	-1.6403198E-4	-3	-0.0012207031
23	13.06.15	23053.25	40544.31	0.00026	65.09032	137.40892	52.635498	0.0	3	-0.0012207031
24	13.06.15	27840.5	40544.21	0.00084	65.10028	117.4241	67.24182	1.2207031E-4	2	-0.0012207031

На первом этапе с официального сайта получаем эфемериды по данным альманаха ГНСС ГЛОНАСС за 13.06.2015. В них имеется информация о времени прохождения восходящего узла (количество секунд от 00ч.00м.00сек. базовой даты), период обращения, эксцентриситет, наклонение орбиты, географическая долгота восходящего узла, аргумент перигелия, поправка к бортовой шкале времени, номер литерной частоты и скорость изменения драконического периода.

Очевидно, для запуска ЗДТ необходимо определить большую полуось и среднюю аномалию, но для начала переведем дату из UTC в UT1. Большая полуось была получена

$$\text{через период обращения } a = \sqrt[3]{\frac{\mu}{n^2}}, \text{ где } n = \frac{2\pi}{T}. \quad (1)$$

$$\text{Среднюю аномалию вычисляем по формуле } M_0 = n(t - t_0). \quad (2)$$

Теперь на основе полученных и уже имеющихся кеплеровских элементов определяем прямоугольные координаты (x, y, z) спутников с помощью ЗДТ.

где $n = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}$ – среднее движение по орбите, τ – момент времени, в который ИСЗ

проходит через свой перицентр, t – момент времени на который определяются координаты ИСЗ.

Решать уравнение Кеплера будем методом секущих. Для этого представим уравнение Кеплера как функцию от одной переменной – $f(E) = 0$. Теперь можно представить итерационную схему нахождения решения уравнения Кеплера:

$$E_{k+1} = E_k - f(E_k) \frac{E_k - E_{k-1}}{f(E_k) - f(E_{k-1})} \quad (7)$$

где k – номер итерации. В представленной схеме необходимо задать начальное приближение – E_0, E_1 для того чтобы найти следующее более точное приближение E_3 .

При этом за решение принять E_n при соблюдении следующего условия: $|E_n - E_{n-1}| < \varepsilon$, где ε – заданная точность.

Точность – ε , с которой решалось уравнение Кеплера, равна 10^{-11} градусов. При этих условиях эксцентрическая аномалия находилась за четыре итерации, для всех спутников.

После того, как мы определили положение ИСЗ в плоскости орбиты, следующей нашей задачей будет перевод орбитальных координат (ξ, η, ζ) в прямоугольные координаты (x, y, z) . Для этого используем следующие матричные преобразования:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \Omega & -\sin \Omega & 0 \\ \sin \Omega & \cos \Omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos i & -\sin i \\ 0 & \sin i & \cos i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \omega & -\sin \omega & 0 \\ \sin \omega & \cos \omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} \quad (8)$$

4. Проверка попадания КА ГЛОНАСС в зону видимости со станции.

Для начала необходимо вычислить прямоугольные координаты станций по заданной широте и долготе. Предположим, что наши станции находятся в Томске на высоте 30м. Переведем их топоцентрические координаты в прямоугольные по формуле [2]:

$$\begin{aligned} X &= R \cos(\lambda) * \cos(\varphi) \\ Y &= R \sin(\lambda) * \cos(\varphi) \\ Z &= R \sin(\varphi) \end{aligned} \quad (9)$$

Вычислив топоцентрические горизонтальные координаты спутников, проверим условие попадания спутника в зону видимости (рис 1).

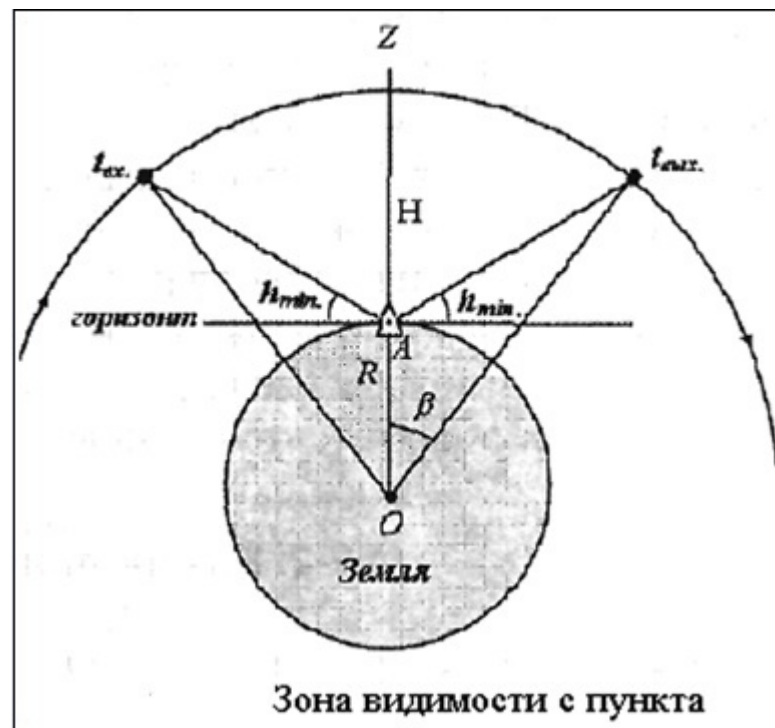


Рисунок 2 — Определение зоны видимости со станции

Для определения сферического радиуса зоны видимости спутника со станции используется формула [2]:

$$b = \arccos \frac{R \cos(h_{\min})}{a} - h_{\min} \quad (10)$$

Здесь R - радиус Земли; a - радиус (большая полуось) орбиты, а $h_{\min}$ - угол отсечки по высоте или маска высоты.

Вычислив, получили $b=0.82893$. Величина угла b и среднее движение спутника n определяют продолжительность Δt пребывания спутника в зоне видимости. Получим Δt по следующей формуле:

$$\Delta t = \frac{2\beta}{n} \quad (11)$$

По результатам вычисления спутник находится в зоне видимости 2.97159 часа.

5. Моделирование наблюдений

Целью относительного позиционирования является определение координат неизвестной точки по отношению к известной точке, которая в большинстве применений является стационарной. В нашем случае таких стационарных точек будет три. Для начала определим вектора между неизвестной точкой и стационарными. Обозначим А, В, С – опорные точки, а D – неизвестная точка, тогда E_{AD} , E_{BD} , E_{CD} – вектора базовой линии. Введем соответствующие векторы положения R_A , R_B , R_C и R_D и составим соотношения [4]

$$\begin{aligned} R_D &= R_A + E_{AD} \\ R_D &= R_B + E_{BD} \\ R_D &= R_C + E_{CD} \end{aligned} \quad (12)$$

тогда компоненты вектора базовой линии

$$\begin{aligned} E_{AD} &= \begin{bmatrix} X_A - X_D \\ Y_A - Y_D \\ Z_A - Z_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AD} \\ \Delta Y_{AD} \\ \Delta Z_{AD} \end{bmatrix} \\ E_{BD} &= \begin{bmatrix} X_B - X_D \\ Y_B - Y_D \\ Z_B - Z_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{BD} \\ \Delta Y_{BD} \\ \Delta Z_{BD} \end{bmatrix} \\ E_{CD} &= \begin{bmatrix} X_C - X_D \\ Y_C - Y_D \\ Z_C - Z_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{CD} \\ \Delta Y_{CD} \\ \Delta Z_{CD} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (13)$$

Относительное позиционирование может выполняться следующим образом:

- 1) по кодовым дальностям;
- 2) по фазовым дальностям.

Относительное позиционирование требует выполнения одновременных наблюдений и на опорной, и на неизвестной точке. Далее будет использоваться статическое относительное позиционирование. Предположим, что на пунктах А, В, С, D имеются наблюдения на 4 спутника и образуем линейные комбинации, которые приведут к тройным разностям.

Предположим, что уравнения измеренных фаз (в единицах расстояния) имеют вид:

$$\begin{aligned} \Phi_A^n(t) &= \rho_A^n(t) + \lambda N_A^n + cdt_A + v_{nA}, \\ \Phi_B^n(t) &= \rho_B^n(t) + \lambda N_B^n + cdt_B + v_{nB}, \\ \Phi_C^n(t) &= \rho_C^n(t) + \lambda N_C^n + cdt_C + v_{nC}, \\ \Phi_D^n(t) &= \rho_D^n(t) + \lambda N_D^n + cdt_D + v_{nD}, \end{aligned} \quad (14)$$

где n – номер спутника(1,2,3,4), v – случайные ошибки измерений, а $\rho_A^n = \sqrt{(x^n - X_A)^2 + (y^n - Y_A)^2 + (z^n - Z_A)^2}$ – измеренное расстояние между приемником в пункте А и одним из 4 спутников. N – Фазовые неоднозначности для спутников, а dt – поправки часов приемников на пунктах. Параметры часов, тропосферные и ионосферные задержки будут исключаться при обработке.

Для каждого спутника и для каждой эпохи (в нашем случае их 2) можно выразить тройные разности. Исходя из этого, число измерений будет равно 32 (число спутников (4) умноженное на число эпох (2) и умноженное на число станций(4)).

Уравнения тройных разностей имеют вид [5]

$$\begin{aligned}\Phi_{AD}^{nm}(t) &= \rho_{AD}^{nm}(t_{12}), \\ \Phi_{BD}^{nm}(t) &= \rho_{BD}^{nm}(t_{12}), \text{ где} \\ \Phi_{CD}^{nm}(t) &= \rho_{CD}^{nm}(t_{12}).\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{AD}^n(t_{1,2}) &= \rho_{AD}^n(t_1) - \rho_{AD}^n(t_2) \\ \rho_{BD}^n(t_{1,2}) &= \rho_{BD}^n(t_1) - \rho_{BD}^n(t_2), \text{ в свою очередь} \\ \rho_{CD}^n(t_{1,2}) &= \rho_{CD}^n(t_1) - \rho_{CD}^n(t_2)\end{aligned}\quad (15)$$

$$\begin{aligned}\rho_{AD}^{1,2}(t_1) &= \rho_{AD}^{1'}(t_1) - \rho_{AD}^{2'}(t_1) = \sqrt{(x^{1'} - X_A)^2 + (y^{1'} - Y_A)^2 + (z^{1'} - Z_A)^2} - \\ &- \sqrt{(x^{1'} - X_D)^2 + (y^{1'} - Y_D)^2 + (z^{1'} - Z_D)^2} - \\ &- \sqrt{(x^{2'} - X_A)^2 + (y^{2'} - Y_A)^2 + (z^{2'} - Z_A)^2} + \sqrt{(x^{2'} - X_D)^2 + (y^{2'} - Y_D)^2 + (z^{2'} - Z_D)^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{BD}^{1,2}(t_1) &= \rho_{BD}^{1'}(t_1) - \rho_{BD}^{2'}(t_1) = \sqrt{(x^{1'} - X_B)^2 + (y^{1'} - Y_B)^2 + (z^{1'} - Z_B)^2} - \\ &- \sqrt{(x^{1'} - X_D)^2 + (y^{1'} - Y_D)^2 + (z^{1'} - Z_D)^2} \\ &- \sqrt{(x^{2'} - X_B)^2 + (y^{2'} - Y_B)^2 + (z^{2'} - Z_B)^2} + \sqrt{(x^{2'} - X_D)^2 + (y^{2'} - Y_D)^2 + (z^{2'} - Z_D)^2}\end{aligned}\quad (16)$$

$$\begin{aligned}\rho_{CD}^{1,2}(t_1) &= \rho_{CD}^{1'}(t_1) - \rho_{CD}^{2'}(t_1) = \sqrt{(x^{1'} - X_C)^2 + (y^{1'} - Y_C)^2 + (z^{1'} - Z_C)^2} - \\ &- \sqrt{(x^{1'} - X_D)^2 + (y^{1'} - Y_D)^2 + (z^{1'} - Z_D)^2} \\ &- \sqrt{(x^{2'} - X_C)^2 + (y^{2'} - Y_C)^2 + (z^{2'} - Z_C)^2} + \sqrt{(x^{2'} - X_D)^2 + (y^{2'} - Y_D)^2 + (z^{2'} - Z_D)^2}\end{aligned}$$

6. Уравнения для определения поправок в координаты неизвестного пункта.

Возьмем систему выражений (16) и запишем ее для эпох t_1 и t_2 :

$$\begin{aligned}
 \rho_{AD}^{1,2}(t_{1,2}) = & \sqrt{(x^1(t_1) - X_A)^2 + (y^1(t_1) - Y_A)^2 + (z^1(t_1) - Z_A)^2} - \\
 & \sqrt{(x^1(t_1) - X_D - \Delta X_D)^2 + (y^1(t_1) - Y_D - \Delta Y_D)^2 + (z^1(t_1) - Z_D - \Delta Z_D)^2} - \\
 & \sqrt{(x^{2'}(t_1) - X_A)^2 + (y^{2'}(t_1) - Y_A)^2 + (z^{2'}(t_1) - Z_A)^2} + \\
 & \sqrt{(x^{2'}(t_1) - X_D - \Delta X_D)^2 + (y^{2'}(t_1) - Y_D - \Delta Y_D)^2 + (z^{2'}(t_1) - Z_D - \Delta Z_D)^2} - \\
 & \sqrt{(x^1(t_2) - X_A)^2 + (y^1(t_2) - Y_A)^2 + (z^1(t_2) - Z_A)^2} + \\
 & \sqrt{(x^1(t_2) - X_D - \Delta X_D)^2 + (y^1(t_2) - Y_D - \Delta Y_D)^2 + (z^1(t_2) - Z_D - \Delta Z_D)^2} + \\
 & \sqrt{(x^{2'}(t_2) - X_A)^2 + (y^{2'}(t_2) - Y_A)^2 + (z^{2'}(t_2) - Z_A)^2} - \\
 & \sqrt{(x^{2'}(t_2) - X_D - \Delta X_D)^2 + (y^{2'}(t_2) - Y_D - \Delta Y_D)^2 + (z^{2'}(t_2) - Z_D - \Delta Z_D)^2}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{BD}^{1,2}(t_{1,2}) = & \sqrt{(x^1(t_1) - X_B)^2 + (y^1(t_1) - Y_B)^2 + (z^1(t_1) - Z_B)^2} - \\
 & \sqrt{(x^1(t_1) - X_D - \Delta X_D)^2 + (y^1(t_1) - Y_D - \Delta Y_D)^2 + (z^1(t_1) - Z_D - \Delta Z_D)^2} - \\
 & \sqrt{(x^{2'}(t_1) - X_B)^2 + (y^{2'}(t_1) - Y_B)^2 + (z^{2'}(t_1) - Z_B)^2} + \\
 & \sqrt{(x^{2'}(t_1) - X_D - \Delta X_D)^2 + (y^{2'}(t_1) - Y_D - \Delta Y_D)^2 + (z^{2'}(t_1) - Z_D - \Delta Z_D)^2} - \\
 & \sqrt{(x^1(t_2) - X_B)^2 + (y^1(t_2) - Y_B)^2 + (z^1(t_2) - Z_B)^2} + \\
 & \sqrt{(x^1(t_2) - X_D - \Delta X_D)^2 + (y^1(t_2) - Y_D - \Delta Y_D)^2 + (z^1(t_2) - Z_D - \Delta Z_D)^2} + \\
 & \sqrt{(x^{2'}(t_2) - X_B)^2 + (y^{2'}(t_2) - Y_B)^2 + (z^{2'}(t_2) - Z_B)^2} - \\
 & \sqrt{(x^{2'}(t_2) - X_D - \Delta X_D)^2 + (y^{2'}(t_2) - Y_D - \Delta Y_D)^2 + (z^{2'}(t_2) - Z_D - \Delta Z_D)^2}.
 \end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned}
\rho_{CD}^{1,2}(t_{1,2}) = & \sqrt{\left(x^1(t_1) - X_C\right)^2 + \left(y^1(t_1) - Y_C\right)^2 + \left(z^1(t_1) - Z_C\right)^2} - \\
& \sqrt{\left(x^1(t_1) - X_D - \Delta X_D\right)^2 + \left(y^1(t_1) - Y_D - \Delta Y_D\right)^2 + \left(z^1(t_1) - Z_D - \Delta Z_D\right)^2} - \\
& \sqrt{\left(x^{2'}(t_1) - X_C\right)^2 + \left(y^{2'}(t_1) - Y_C\right)^2 + \left(z^{2'}(t_1) - Z_C\right)^2} + \\
& \sqrt{\left(x^{2'}(t_1) - X_D - \Delta X_D\right)^2 + \left(y^{2'}(t_1) - Y_D - \Delta Y_D\right)^2 + \left(z^{2'}(t_1) - Z_D - \Delta Z_D\right)^2} - \\
& \sqrt{\left(x^1(t_2) - X_C\right)^2 + \left(y^1(t_2) - Y_C\right)^2 + \left(z^1(t_2) - Z_C\right)^2} + \\
& \sqrt{\left(x^1(t_2) - X_D - \Delta X_D\right)^2 + \left(y^1(t_2) - Y_D - \Delta Y_D\right)^2 + \left(z^1(t_2) - Z_D - \Delta Z_D\right)^2} + \\
& \sqrt{\left(x^{2'}(t_2) - X_C\right)^2 + \left(y^{2'}(t_2) - Y_C\right)^2 + \left(z^{2'}(t_2) - Z_C\right)^2} - \\
& \sqrt{\left(x^{2'}(t_2) - X_D - \Delta X_D\right)^2 + \left(y^{2'}(t_2) - Y_D - \Delta Y_D\right)^2 + \left(z^{2'}(t_2) - Z_D - \Delta Z_D\right)^2}.
\end{aligned}$$

Если эпохи t_1 и t_2 близки во времени настолько, что поправки в координаты неизвестного пункта для этих эпох постоянны, а в левых частях соотношений системы выражений (17) стоят разности измеренных величин, то это соотношение является нелинейным уравнение относительно поправок в координаты пункта D. Для определения трех поправок в координаты пункта D нужно иметь минимум три таких уравнения.

7. Алгоритм определения НК оценок для поправок в координаты неизвестного пункта

Для нахождения поправок в координаты неизвестного пункта D воспользуемся итерационным алгоритмом ньютоновского типа в рамках метода наименьших квадратов. Приведем систему выражений (18) к линейному виду относительно неизвестных поправок. В итоге получим [3]

$$\frac{\partial \rho_{AD}^{1,2}(t_{1,2})}{\partial X_D} \Delta X_D + \frac{\partial \rho_{AD}^{1,2}(t_{1,2})}{\partial Y_D} \Delta Y_D + \frac{\partial \rho_{AD}^{1,2}(t_{1,2})}{\partial Z_D} \Delta Z_D + l = 0, \text{ где} \quad (18)$$

$$l = \left[\rho_{AD}^{1,2}(t_{1,2}) \right]_{\text{набл}} - \left[\rho_{AD}^{1,2}(t_{1,2}) \right]_{\text{выч}} \quad (19)$$

а коэффициенты при неизвестных имеют вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_{AD}^{1,2}(t_{1,2})}{\partial X_D} &= \frac{x^{1'}(t_1) - X_D}{\rho_D^{1'}(t_1)} - \frac{x^{2'}(t_1) - X_D}{\rho_D^{2'}(t_1)} - \frac{x^{1'}(t_2) - X_D}{\rho_D^{1'}(t_2)} + \frac{x^{2'}(t_2) - X_D}{\rho_D^{2'}(t_2)} \\ \frac{\partial \rho_{AD}^{1,2}(t_{1,2})}{\partial Y_D} &= \frac{y^{1'}(t_1) - Y_D}{\rho_D^{1'}(t_1)} - \frac{y^{2'}(t_1) - Y_D}{\rho_D^{2'}(t_1)} - \frac{y^{1'}(t_2) - Y_D}{\rho_D^{1'}(t_2)} + \frac{y^{2'}(t_2) - Y_D}{\rho_D^{2'}(t_2)} \\ \frac{\partial \rho_{AD}^{1,2}(t_{1,2})}{\partial Z_D} &= \frac{z^{1'}(t_1) - Z_D}{\rho_D^{1'}(t_1)} - \frac{z^{2'}(t_1) - Z_D}{\rho_D^{2'}(t_1)} - \frac{z^{1'}(t_2) - Z_D}{\rho_D^{1'}(t_2)} + \frac{z^{2'}(t_2) - Z_D}{\rho_D^{2'}(t_2)}. \end{aligned} \quad (20)$$

Для базовых пунктов В и С аналогично, т.е. уравнений типа (18) будет 3. Полученную систему уравнений запишем в матрично-векторном виде

$$Rq = L, \quad (21)$$

где R – матрица, составленная из коэффициентов (19), q – вектор оцениваемых параметров, L – вектор свободных членов.

Итерационный алгоритм нахождения НК оценок вектора q будет выглядеть следующим образом

$$q_n = q_{n-1} + (R^T R)^{-1} R^T L. \quad (22)$$

И завершается данный итерационный процесс при

$$|q_n - q_{n-1}| < \varepsilon, \quad (23)$$

где ε – требуемая точность получения оценок. Среднеквадратическая ошибка единицы веса найдется по формуле

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta l_i)^2}{N-3}}, \quad (24)$$

а среднеквадратическая ошибка каждой оценки как

$$\sigma_i = \sigma_0 \bar{w}_{ii}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (25)$$

где $\bar{w}$ – диагональный элемент обратной матрицы.

8. Алгоритм построения граничных поверхностей доверительных эллипсоидов.

Для начала зададим вероятность накрытия доверительным эллипсоидом неизвестного точного решения задачи:

$$P = \gamma^* \quad (26)$$

Далее определяется верхняя квантиль распределения функции Фишера F^* для конкретного значения (26).

Следующий этап заключается в определении правой части уравнения эллипсоида

$$(q - \hat{q})^T [R^T(\hat{q})PR(\hat{q})](q - \hat{q}) = \varepsilon \quad (27)$$

используя формулу

$$\varepsilon = \sigma_0^2 m F^*(m; N - m; 1 - \alpha) \quad (28)$$

После моделируем случайные точки, которые будут заполнять объем эллипсоида (27) с помощью алгоритма

$$q^j = \hat{q} + A\eta^T \quad (29)$$

Здесь A – нижняя треугольная матрица, такая, что $AA^T = \hat{D}$; $\hat{D}$ – НК-оценка ковариационной матрицы, которая определяется выражением

$$\hat{D} = \sigma_0^2 [R^T(\hat{q})PR(\hat{q})]^{-1};$$

$\eta = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_m)$, где $\eta_i (i = 1, 2, \dots, m)$ – независимые $\mathcal{N}(0; 1)$ – нормально распределенные случайные числа; $j = 1, 2, \dots, s$, где s – количество точек q^j , определяемое длиной моделируемой датчиками случайных чисел выборки вектора η ;

На четвертом этапе все точки q^j , отображаем на граничную поверхность вдоль векторов $(q^j - \hat{q})$ выражением

$$q_j^* = \hat{q} + l_j(q^j - \hat{q}) \quad (30)$$

Здесь $l_j = (\varepsilon / \varepsilon_j)^{1/2}$ – множитель, растягивающий (или сжимающий) вектор $(q^j - \hat{q})$ до граничной поверхности; ε_j – находим из соотношения

$$(q^j - \hat{q})^T [R^T(\hat{q})PR(\hat{q})](q^j - \hat{q}) = \varepsilon_j \quad (31)$$

9. Описание результатов численного эксперимента.

Поскольку целью данной работы была визуализация доверительных эллипсоидов, определенных по методу А. М. Черницова, алгоритм которого изложен выше, далее представлены результаты исследования с некоторыми параметрами.

Были проведены измерения на две эпохи с разницей по времени:

- 4 ч
- 6 ч
- 8 ч

Ошибки в координаты определяемого пункта взяты следующие:

- 10 см
- 1 м
- 10 м

И точность измерений:

- 2 см,
- 10 см
- 20 см
- 30 см
- И т.д. до 1 м.

Таблица 1 — Координаты опорных и определяемой станций.

	1я станция(А)	2я станция(В)	3я станция(С)	Неизвестная станция(Д)
Широта	56.4554	56.4688	56.4390	56.4535
Долгота	84.9748	84.9450	84.9193	84.9511

Для наглядности изобразим положения станций графически на рисунках 3 и 4.

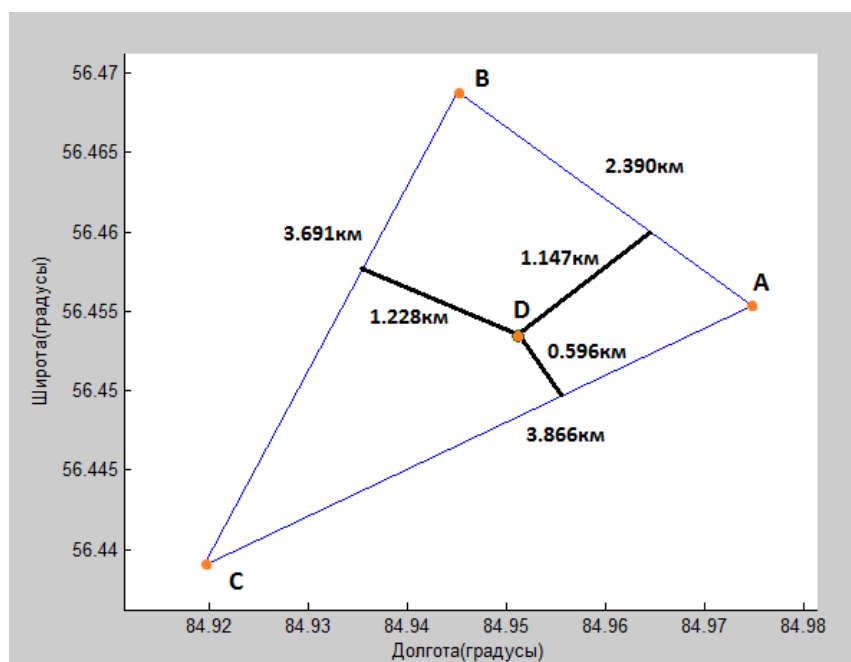


Рисунок 3 — Положение станций.

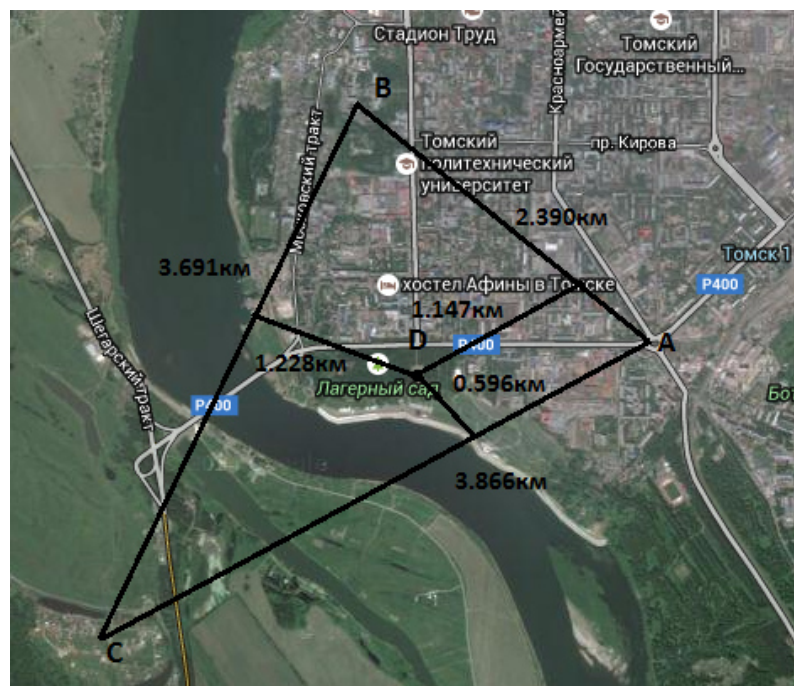


Рисунок 4 — Положение станций на карте Google Map.

На рисунке 5 приведены доверительные области определения координат точки на интервале 8 часов с точностью измерений 2см и ошибками в координаты определяемого пункта 10 см, 1 м и 10 м, а также базовая доверительная область.

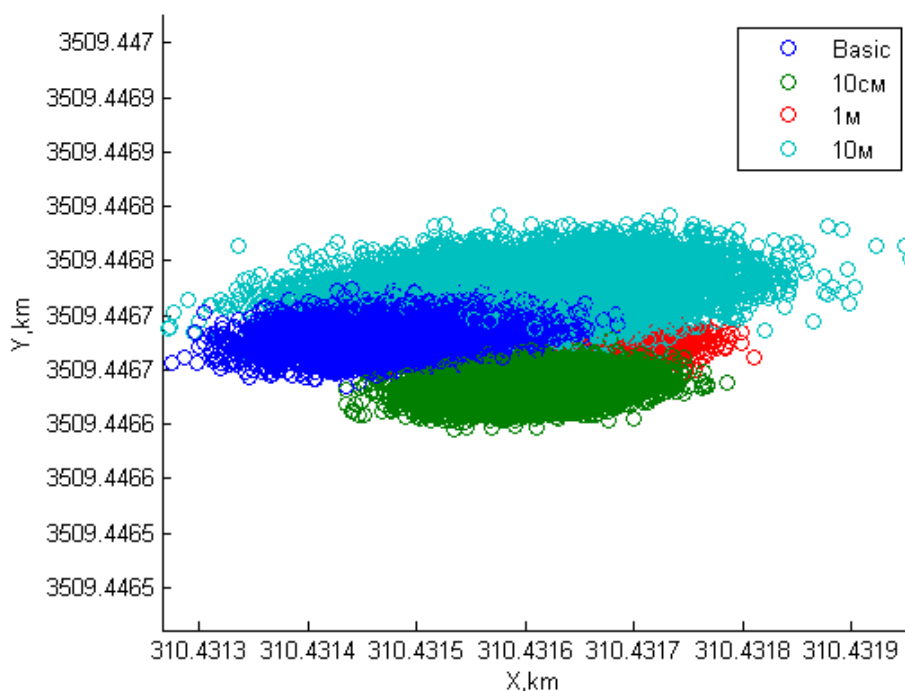


Рисунок 5 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 8 часов. Точность измерений 2см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

При построении базовой области для сходимости процесса потребовалось 13 итераций, для эллипсоида с ошибкой в координаты определяемого пункта 10 см — 15 итерация, а также для 1 м и 10 м — 14 и 15 итераций для построения рисунка 5. Так как в работе присутствует случайная составляющая, эксперимент был повторен по 100 раз с каждой ошибкой, чтобы получить более точное количество итераций.

В итоге на построение проекции базовой доверительной области в среднем требуется 13 итераций, для 10 см — 13, для 1 м — 14 и для 10 м — 15 итераций.

На рисунке 6 изображены доверительные области, полученные на временном интервале 8 часов с точность измерений 10 см. Ошибки в координаты определяемого пункта остаются неизменными (10 см, 1 м и 10 м) на протяжении всего эксперимента.

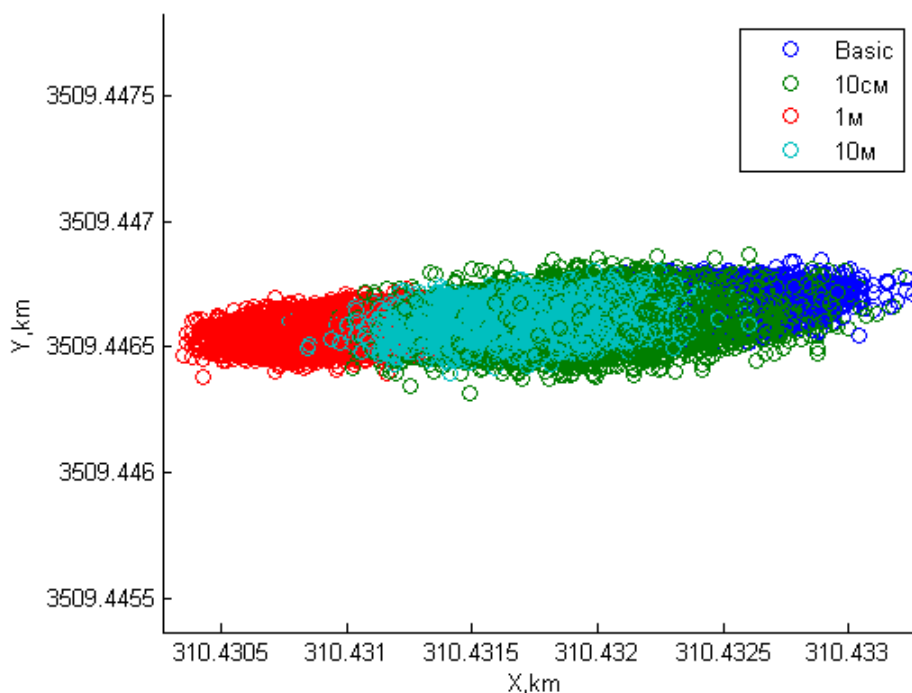


Рисунок 6 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 8 часов. Точность измерений 10 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 6 для базовой области потребовалось 14 итераций, 10 см — 16 итераций, 1 м — 16 и 10 м — 15 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 14 итераций
- 10 см — 14 итераций
- 1 м — 15 итераций
- 10 м — 16 итераций

На следующем рисунке ошибка в координаты определяемого пункта увеличена до 20 см.

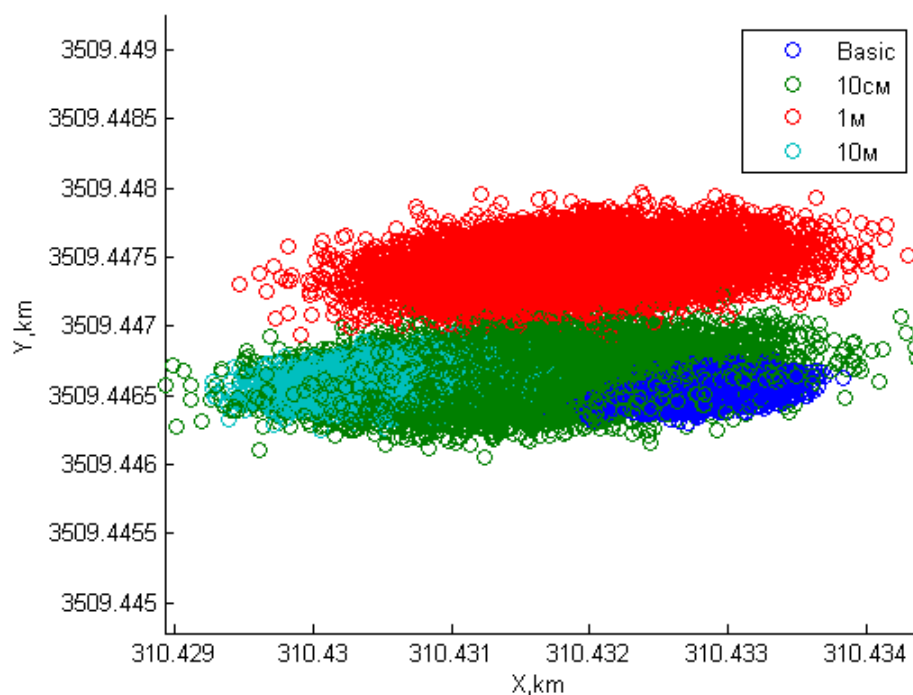


Рисунок 7 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 8 часов. Точность измерений 20 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 7 для базовой области потребовалось 14 итераций, 10 см — 15 итераций, 1 м — 16 и 10 м — 16 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 14 итераций
- 10 см — 14 итераций
- 1 м — 15 итераций
- 10 м — 16 итераций

На данном этапе можем заметить, что при уменьшении точности измерений в 5 раз количество итераций увеличилось на 1, а при увеличении в 2 раза их количество не изменилось.

На следующих рисунках (рис. 8 – рис.15) показаны проекции доверительных областей, построенные с разной точностью измерений, а именно с 30 см до 1 м с шагом в 10 см.

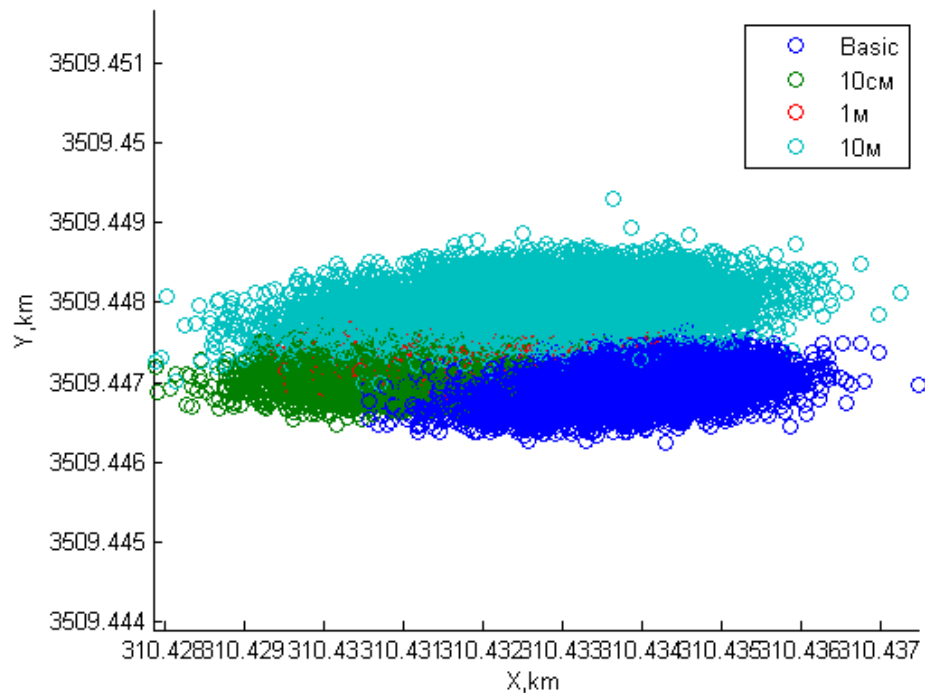


Рисунок 8 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 8 часов. Точность измерений 30 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 8 для базовой области потребовалось 15 итераций, 10 см — 16 итераций, 1 м — 16 и 10 м — 18 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 15 итераций
- 10 см — 15 итераций
- 1 м — 15 итераций
- 10 м — 17 итераций

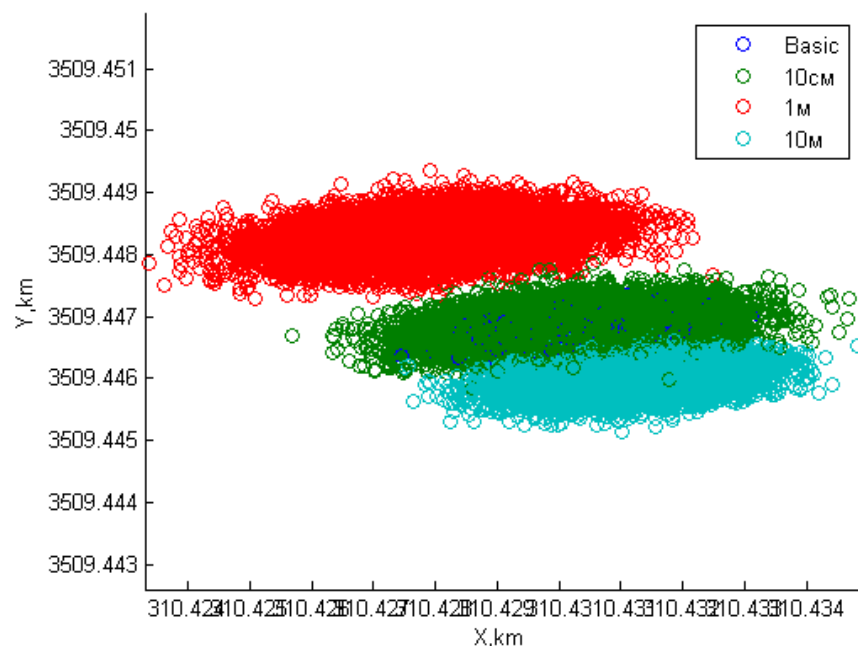


Рисунок 9 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 8 часов. Точность измерений 40 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 9 для базовой области потребовалось 16 итераций, 10 см — 15 итераций, 1 м — 16 и 10 м — 18 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 15 итераций
- 10 см — 15 итераций
- 1 м — 15 итераций
- 10 м — 17 итераций

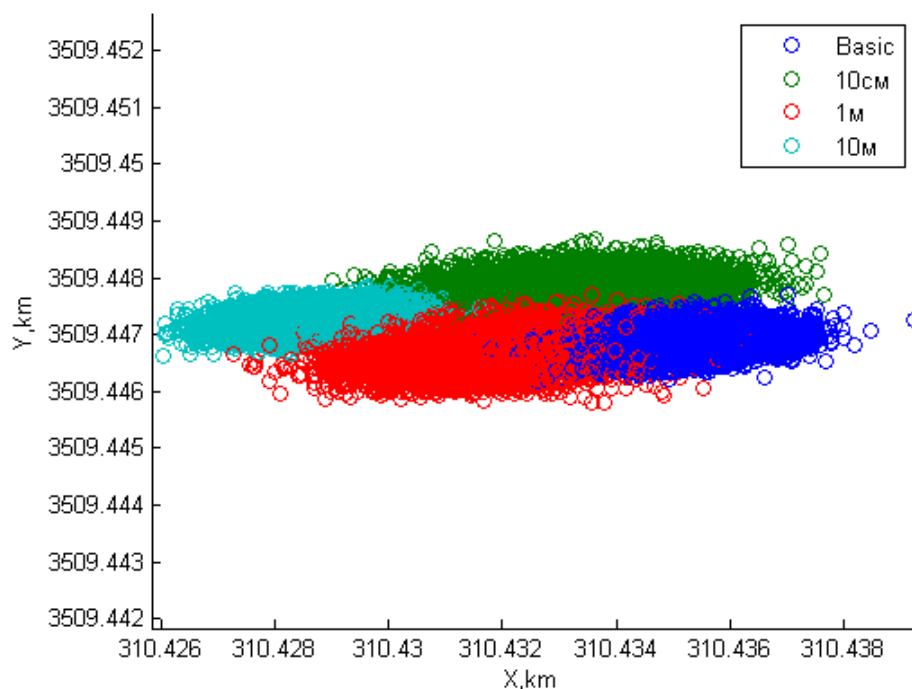


Рисунок 10 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 8 часов. Точность измерений 50 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 10 для базовой области потребовалось 13 итераций, 10 см — 16 итераций, 1 м — 15 и 10 м — 17 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 15 итераций
- 10 см — 15 итераций
- 1 м — 16 итераций
- 10 м — 17 итераций

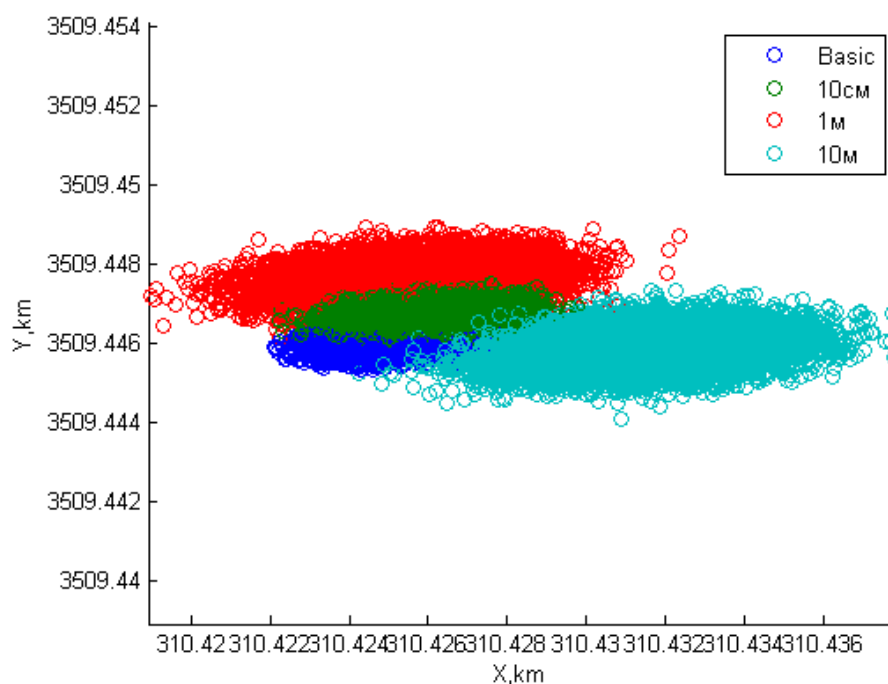


Рисунок 11 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 8 часов. Точность измерений 60 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 11 для базовой области потребовалось 15 итераций, 10 см — 17 итераций, 1 м — 17 и 10 м — 17 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 16 итераций
- 10 см — 16 итераций
- 1 м — 16 итераций
- 10 м — 17 итераций

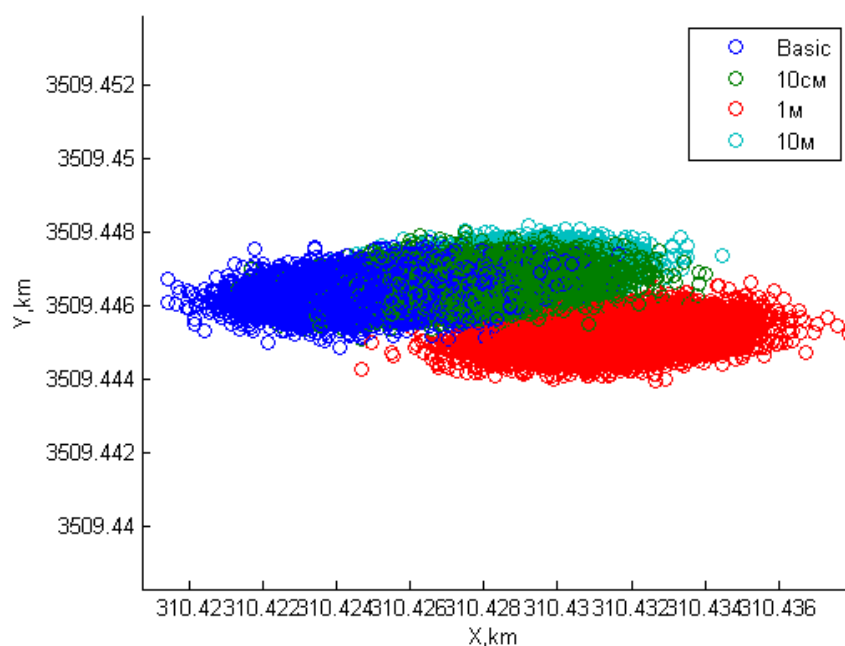


Рисунок 12 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 8 часов. Точность измерений 70 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 12 для базовой области потребовалось 14 итераций, 10 см — 15 итераций, 1 м — 17 и 10 м — 16 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 16 итераций
- 10 см — 16 итераций
- 1 м — 17 итераций
- 10 м — 17 итераций

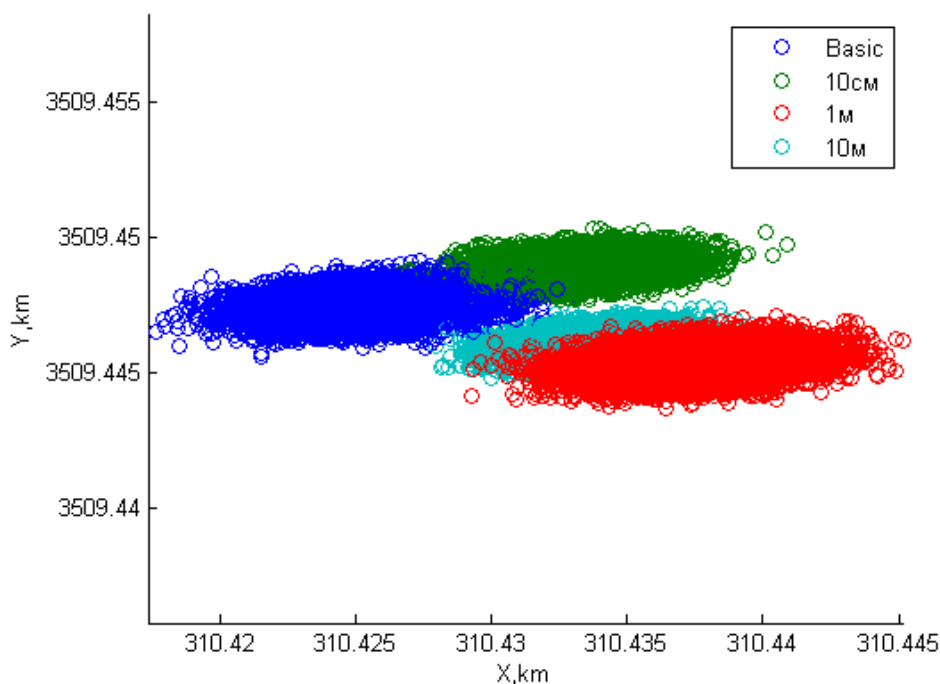


Рисунок 13 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 8 часов. Точность измерений 80 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 13 для базовой области потребовалось 16 итераций, 10 см — 16 итераций, 1 м — 17 и 10 м — 16 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 16 итераций
- 10 см — 16 итераций
- 1 м — 17 итераций
- 10 м — 17 итераций

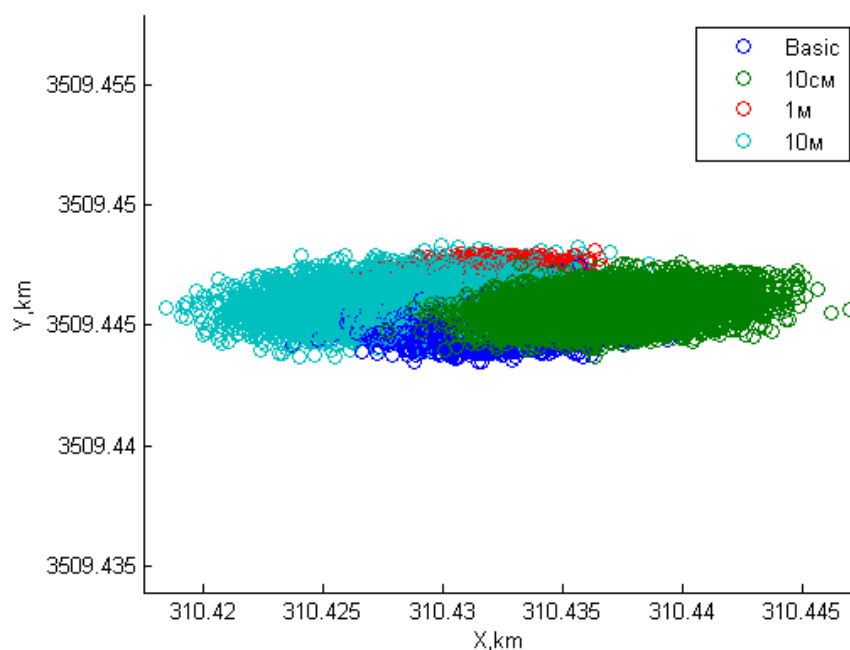


Рисунок 14 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 8 часов. Точность измерений 90 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 14 для базовой области потребовалось 16 итераций, 10 см — 15 итераций, 1 м — 17 и 10 м — 17 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 16 итераций
- 10 см — 16 итераций
- 1 м — 17 итераций
- 10 м — 18 итераций

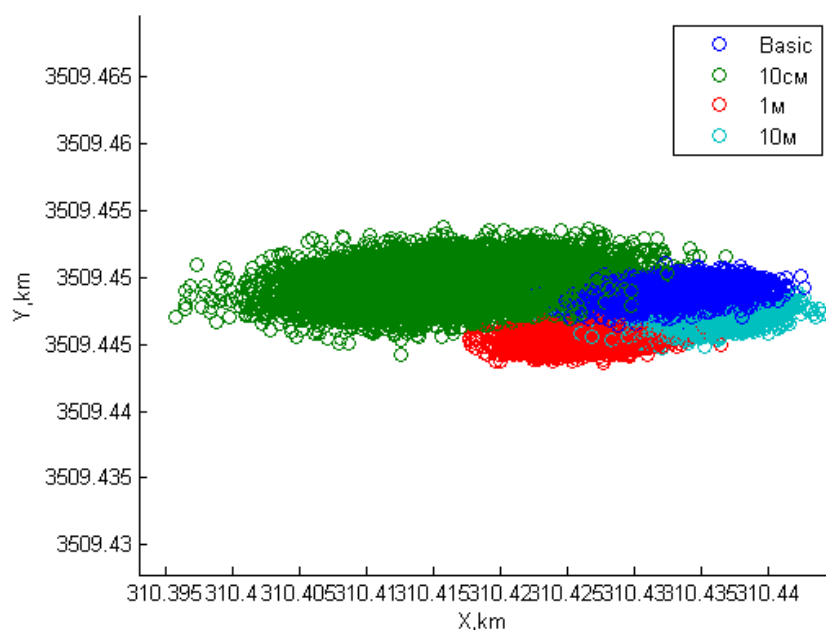


Рисунок 15 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 8 часов. Точность измерений 1 м. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 15 для базовой области потребовалось 16 итераций, 10 см — 17 итераций, 1 м — 17 и 10 м — 18 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 16 итераций
- 10 см — 16 итераций
- 1 м — 17 итераций
- 10 м — 18 итераций

Таблица 2 дает представление о смещении определяемого пункта, т.е. если эллипсоиды не пересекаются, то можно зафиксировать подвижку (знак «++»). Если же эллипсоиды пересекаются, то нельзя наверняка принять факт смещения точки D (знак «-»). Также стоит обозначить случаи, когда вероятность смещения больше 50% (знак «+»).

Таблица 2 — Результаты определения подвижек (интервал 8 часов, 3 опорных пункта).

Точность измерений \ Величина подвижки	10 см	1 м	10 м
2 см	++	+	++
10 см	++	++	++
20 см	+	++	++
30 см	+	+	++
40 см	-	++	++
50 см	-	+	++
60 см	-	++	++
70 см	-	++	++
80 см	-	++	++
90 см	-	-	++
1 м	-	+	++

После проведения подобных вычислений 10 раз, таблица 2 получала новый вид, где зафиксированные наиболее вероятные результаты (таблица 3).

Таблица 3 — Наиболее вероятные результаты определения подвижек на 10 вычислений (интервал 8 часов, 3 опорных пункта).

Точность измерений \ Величина подвижки	10 см	1 м	10 м
2 см	++	++	++
10 см	+	++	++
20 см	+	++	++
30 см	+	++	++
40 см	+	++	++
50 см	-	++	++
60 см	-	+	++

70 см	-	+	++
80 см	-	+	++
90 см	-	+	++
1 м	-	+	++

Результаты были следующими:

- 1) Для точности измерений 2 см
 - 10 см: «-» — 3 раза, «+» — 2 раз, «++» — 5 раз;
 - 1 м: «-» — 1 раз, «+» — 3 раза, «++» — 6 раз;
 - 10 м «-» — 0 раз, «+» — 1 раз, «++» — 9 раз;
- 2) Для точности измерений 10 см
 - 10 см: «-» — 3 раза, «+» — 4 раз, «++» — 3 раза;
 - 1 м: «-» — 2 раза, «+» — 3 раза, «++» — 5 раз;
 - 10 м «-» — 0 раз, «+» — 2 раза, «++» — 8 раз;
- 3) Для точности измерений 20 см
 - 10 см: «-» — 3 раза, «+» — 4 раз, «++» — 3 раза;
 - 1 м: «-» — 2 раза, «+» — 3 раза, «++» — 5 раз;
 - 10 м «-» — 0 раз, «+» — 2 раза, «++» — 8 раз;
- 4) Для точности измерений 30 см
 - 10 см: «-» — 4 раза, «+» — 5 раз, «++» — 1 раз;
 - 1 м: «-» — 2 раз, «+» — 3 раза, «++» — 5 раз;
 - 10 м «-» — 0 раз, «+» — 2 раза, «++» — 8 раз;
- 5) Для точности измерений 40 см
 - 10 см: «-» — 5 раз, «+» — 6 раз, «++» — 0 раз;
 - 1 м: «-» — 2 раза, «+» — 3 раза, «++» — 5 раз;
 - 10 м «-» — 0 раз, «+» — 3 раза, «++» — 7 раз;
- 6) Для точности измерений 50 см
 - 10 см: «-» — 6 раз, «+» — 4 раза, «++» — 0 раз;
 - 1 м: «-» — 2 раза, «+» — 4 раза, «++» — 5 раз;
 - 10 м «-» — 0 раз, «+» — 3 раза, «++» — 7 раз;
- 7) Для точности измерений 60 см
 - 10 см: «-» — 7 раз, «+» — 3 раза, «++» — 0 раз;
 - 1 м: «-» — 2 раза, «+» — 5 раз, «++» — 3 раза;
 - 10 м «-» — 0 раз, «+» — 4 раза, «++» — 6 раз;
- 8) Для точности измерений 70 см
 - 10 см: «-» — 7 раз, «+» — 3 раза, «++» — 0 раз;
 - 1 м: «-» — 3 раза, «+» — 5 раз, «++» — 2 раза;
 - 10 м «-» — 1 раз, «+» — 4 раза, «++» — 5 раз;
- 9) Для точности измерений 80 см
 - 10 см: «-» — 8 раз, «+» — 2 раза, «++» — 0 раз;
 - 1 м: «-» — 3 раза, «+» — 6 раз, «++» — 1 раз;
 - 10 м «-» — 0 раз, «+» — 4 раза, «++» — 6 раз;
- 10) Для точности измерений 90 см
 - 10 см: «-» — 10 раз, «+» — 0 раз, «++» — 0 раз;
 - 1 м: «-» — 4 раза, «+» — 4 раза, «++» — 6 раз;
 - 10 м «-» — 0 раз, «+» — 4 раза, «++» — 6 раз;
- 11) Для точности измерений 1 м
 - 10 см: «-» — 10 раз, «+» — 0 раз, «++» — 0 раз;
 - 1 м: «-» — 5 раз, «+» — 6 раз, «++» — 0 раз;

- 10 м «-» — 0 раз, «+» — 4 раза, «++» — 6 раз;

В некоторых случаях было необходимо повторить 11-ый раз, если из 10-ти раз наиболее вероятный результат выявить не удавалось.

Проанализировав таблицу 3, можно заметить, что метод имеет достаточно высокую точность, что позволит выявлять даже незначительные смещения определяемого пункта.

На рисунке 16 приведены доверительные области определения координат точки на интервале 6 часов с точностью измерений 2см и ошибками в координаты определяемого пункта 10см, 1 м и 10м, а также базовая доверительная область.

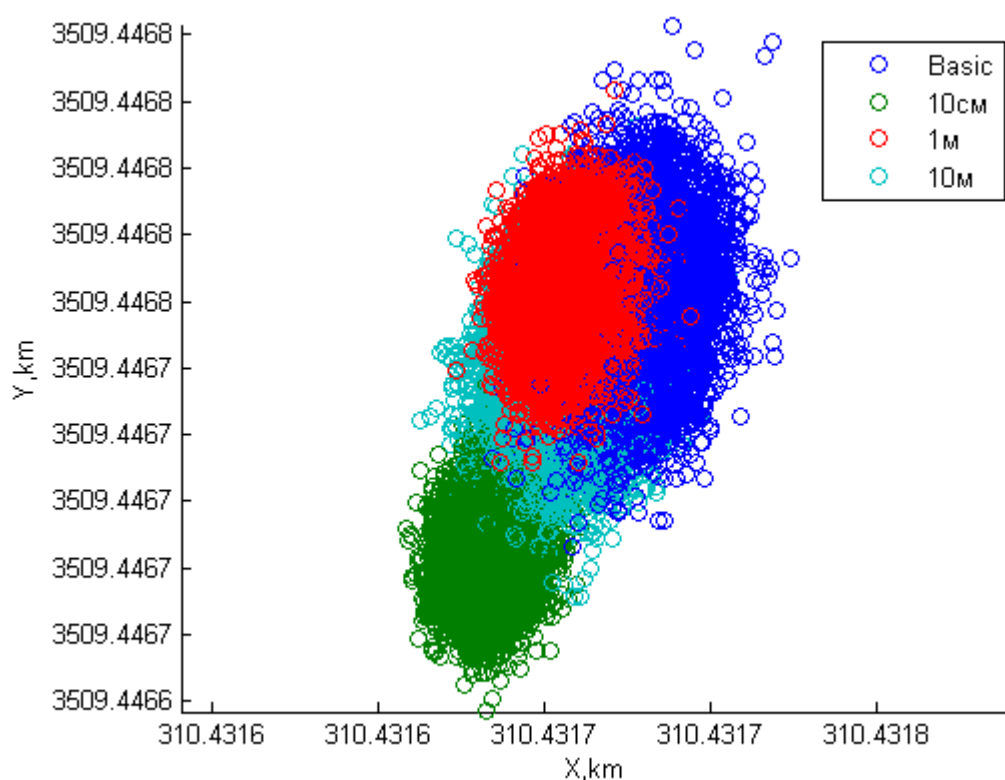


Рисунок 16 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 6 часов. Точность измерений 2 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 16 для базовой области потребовалось 14 итераций, 10 см — 13 итераций, 1 м — 15 и 10 м — 13 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 13 итераций
- 10 см — 13 итераций
- 1 м — 14 итераций
- 10 м — 14 итераций

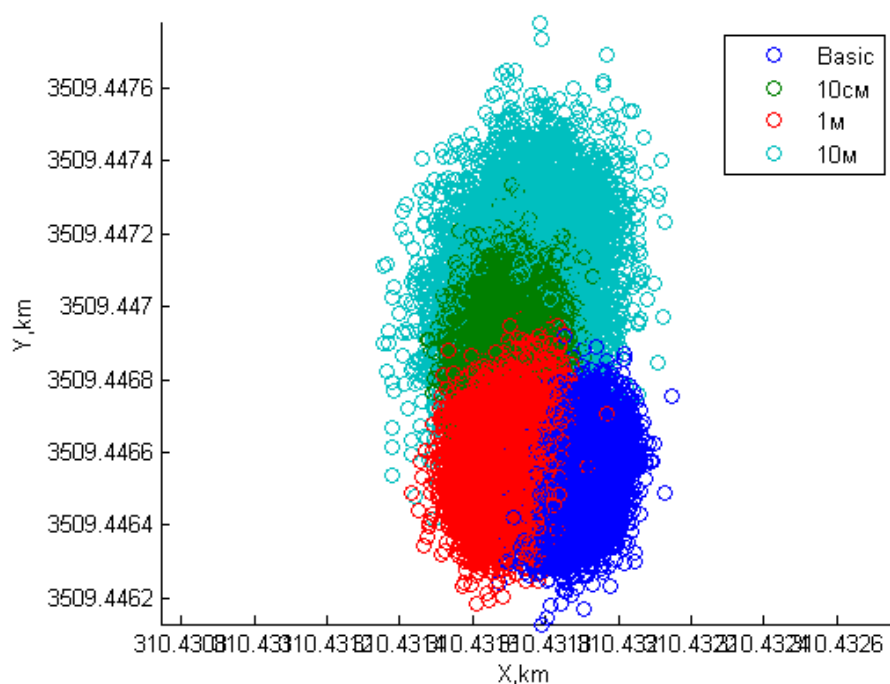


Рисунок 17 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 6 часов. Точность измерений 10 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 17 для базовой области потребовалось 14 итераций, 10 см — 14 итераций, 1 м — 15 и 10 м — 15 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 14 итераций
- 10 см — 14 итераций
- 1 м — 15 итераций
- 10 м — 15 итераций

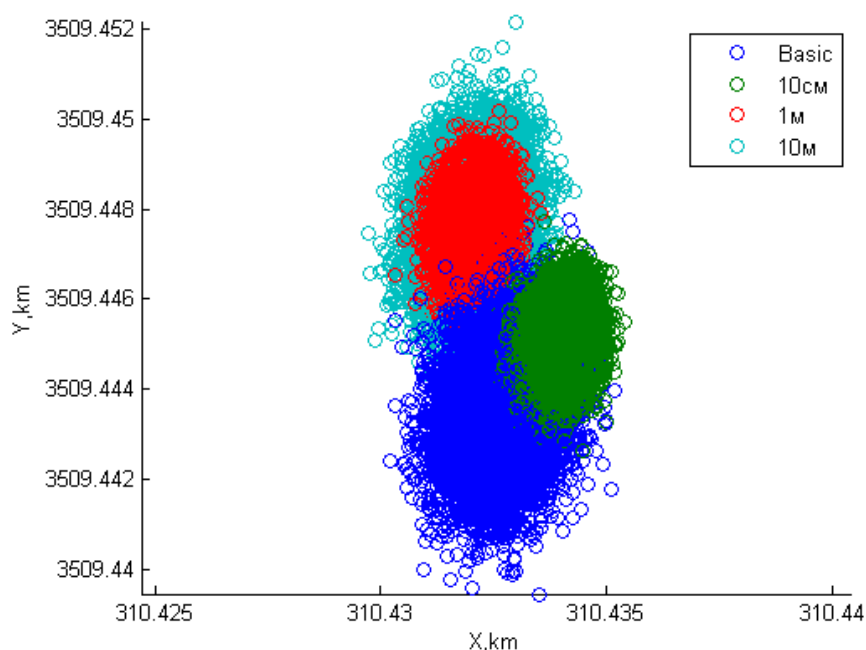


Рисунок 18 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 6 часов. Точность измерений 1 м. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 18 для базовой области потребовалось 15 итераций, 10 см — 16 итераций, 1 м — 16 и 10 м — 18 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 16 итераций
- 10 см — 16 итераций
- 1 м — 17 итераций
- 10 м — 17 итераций

Таблица подвижек для рисунков 16-18 примет следующий вид.

Таблица 4 — Наиболее вероятные результаты определения подвижек на 10 вычислений (интервал 6 часов, 3 опорных пункта).

Точность измерений \ Величина подвижки	10 см	1 м	10 м
2 см	++	++	++
10 см	+	++	++
1 м	-	+	++

1) Для точности измерений 2 см

- 10 см: «-» — 1 раз, «+» — 3 раз, «++» — 6 раз;
- 1 м: «-» — 1 раз, «+» — 3 раз, «++» — 6 раз;
- 10 м «-» — 0 раз, «+» — 1 раз, «++» — 9 раз;

2) Для точности измерений 10 см

- 10 см: «-» — 3 раз, «+» — 4 раз, «++» — 3 раз;
- 1 м: «-» — 3 раз, «+» — 3 раз, «++» — 4 раз;
- 10 м «-» — 0 раз, «+» — 2 раз, «++» — 8 раз;

3) Для точности измерений 1 м

- 10 см: «-» — 8 раз, «+» — 2 раз, «++» — 0 раз;
- 1 м: «-» — 4 раз, «+» — 5 раз, «++» — 2 раз;
- 10 м «-» — 0 раз, «+» — 3 раз, «++» — 7 раз;

Рисунки 19-21 повторяют эксперимент, изображенный на рисунках 16-18, но на интервале 4ч.

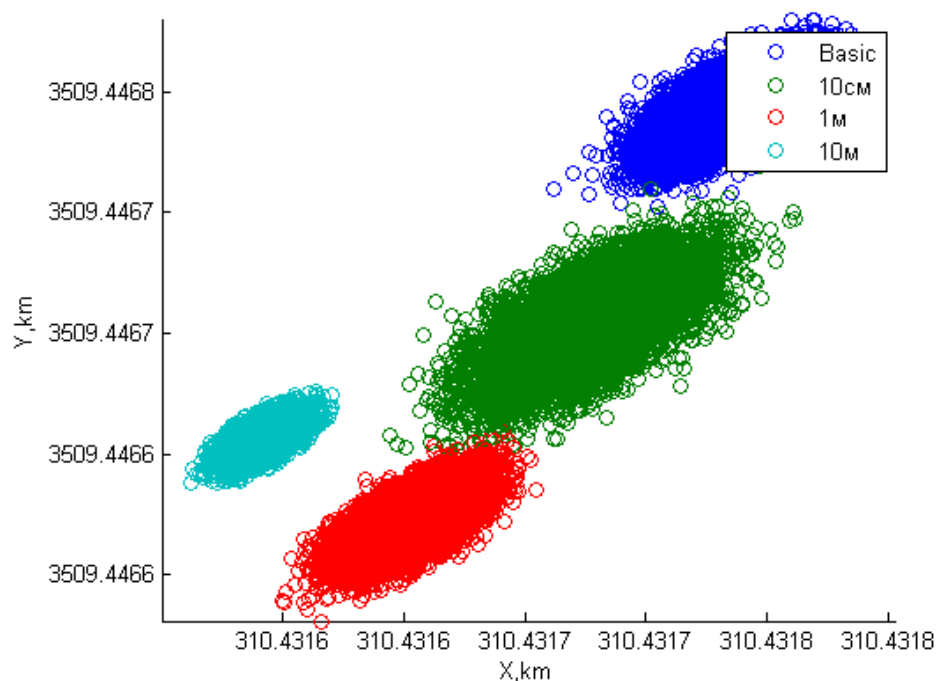


Рисунок 19 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 4 часов. Точность измерений 2 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 19 для базовой области потребовалось 14 итераций, 10 см — 13 итераций, 1 м — 14 и 10 м — 14 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 13 итераций
- 10 см — 13 итераций
- 1 м — 14 итераций
- 10 м — 14 итераций

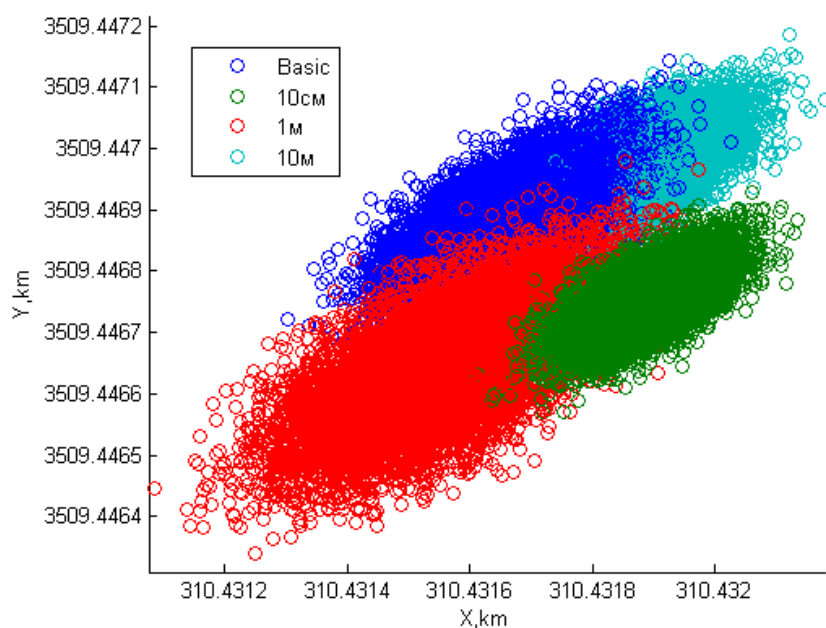


Рисунок 20 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 4 часов. Точность измерений 10 см. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 20 для базовой области потребовалось 14 итераций, 10 см — 15 итераций, 1 м — 15 и 10 м — 15 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 14 итераций
- 10 см — 14 итераций
- 1 м — 15 итераций
- 10 м — 15 итераций

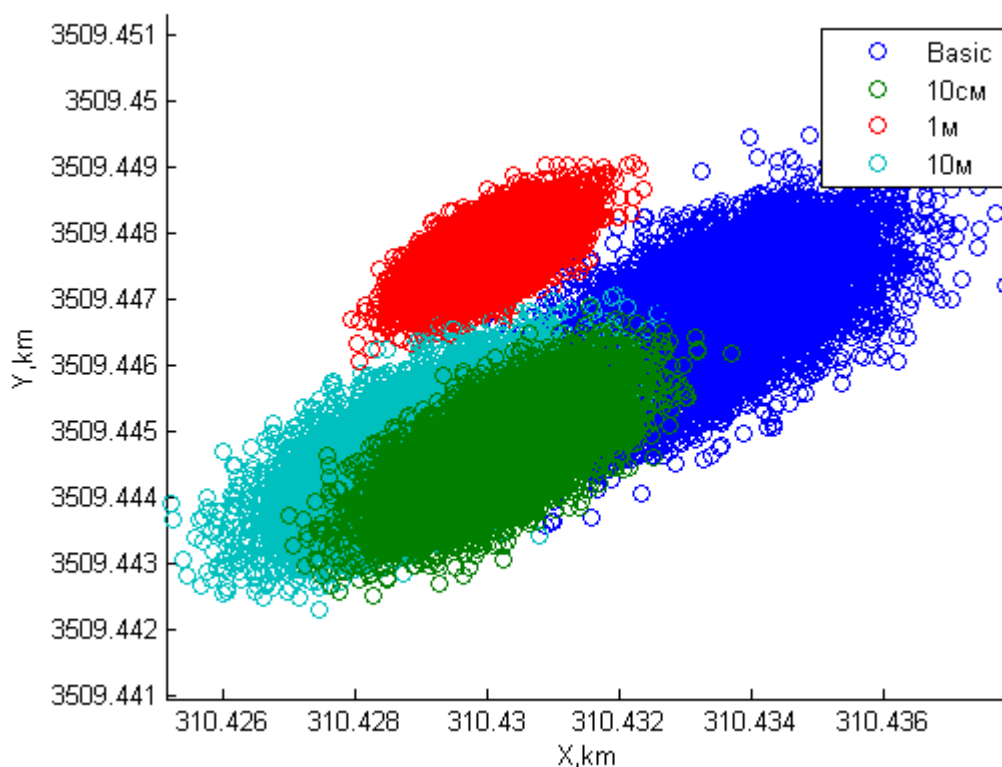


Рисунок 21 — Проекция доверительных областей определения координат точки D. Интервал 4 часов. Точность измерений 1 м. Ошибка в координаты 10 см, 1 м, 10 м.

Для сходимости процесса при построении графика на рисунке 21 для базовой области потребовалось 16 итераций, 10 см — 16 итераций, 1 м — 17 и 10 м — 18 итераций. После 100 повторений эксперимента получены следующие результаты:

- Базовая область — 16 итераций
- 10 см — 16 итераций
- 1 м — 17 итераций
- 10 м — 17 итераций

Таблица подвижек для рисунков 19-21 примет следующий вид.

Таблица 5 — Наиболее вероятные результаты определения подвижек на 10 вычислений (интервал 4 часа, 3 опорных пункта).

Точность измерений \ Величина подвижки	10 см	1 м	10 м
2 см	++	++	++
10 см	+	++	++
1 м	-	+	++

- 1) Для точности измерений 2 см
 - 10 см: «-» — 1 раз, «+» — 3 раз, «++» — 6 раз;
 - 1 м: «-» — 0 раз, «+» — 3 раз, «++» — 7 раз;
 - 10 м «-» — 0 раз, «+» — 1 раз, «++» — 9 раз;
- 2) Для точности измерений 10 см
 - 10 см: «-» — 3 раз, «+» — 4 раз, «++» — 3 раз;
 - 1 м: «-» — 3 раз, «+» — 3 раз, «++» — 4 раз;
 - 10 м «-» — 0 раз, «+» — 1 раз, «++» — 9 раз;
- 3) Для точности измерений 1 м
 - 10 см: «-» — 9 раз, «+» — 1 раз, «++» — 0 раз;
 - 1 м: «-» — 5 раз, «+» — 4 раз, «++» — 2 раз;
 - 10 м «-» — 0 раз, «+» — 3 раз, «++» — 7 раз;

На основе полученных результатов, есть основания полагать, что при использовании алгоритмов тройных разностей и построения граничных поверхностей доверительных эллипсоидов смещение определяемого пункта выявляется с высокой точностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской работе была реализована и опробована модель процесса определения по ГЛОНАСС измерениям координат неизвестной станции с тремя опорными пунктами по тройным разностям, а также построение граничных поверхностей доверительных эллипсоидов. Для этого были реализованы алгоритмы:

- Алгоритм задачи двух тел (ЗДТ).
- Алгоритм проверки попадания КА ГЛОНАСС в зону видимости со станции.
- Моделирование наблюдений по вычисленным расстояниям от спутников ГЛОНАСС до базовых станций и неизвестного пункта в определенные моменты времени
- Составление тройных разностей наблюдаемых величин.
- Определение координат неизвестного пункта по методу Гаусса–Ньютона.
- Построения граничных поверхностей доверительных эллипсоидов по методике А.М. Черницова.
- Определение и визуализация смещений определяемой точки.

Выполненные в работе моделирование задачи и анализ полученных результатов, показывают, что с помощью данного метода можно зафиксировать даже незначительные смещения определяемого объекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. М.: Наука, 1968. 800 с.
2. Бордовицына Т.В. Технологии глобального позиционирования (GPS/ГЛОНАСС) / www.astro.tsu.ru/TGP/
3. Форсайт Дж. Машинные методы математических вычислений/ Дж. Форсайт, М. Малкольм, К. Моулер – М. : Мир. 1980. – 277с.
4. Кузнецова Е.В., Бордовицына Т.В., Черников А.М.. Алгоритмы математического моделирования решения задач локальной геодинамики с использованием базовых ГЛОНАСС/GPS станций // Изв. вузов. Физика. – 2011. –№ 6/2. – С.150-159
5. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. – М.: ФГУП «Картгеоцентр», – 2006. – 8 с. – 2 т.

Уважаемый пользователь! Обращаем ваше внимание, что система «Антиплагиат» отвечает на вопрос, является ли тот или иной фрагмент текста заимствованным или нет. Ответ на вопрос, является ли заимствованный фрагмент именно плагиатом, а не законной цитатой, система оставляет на ваше усмотрение.

Отчет о проверке № 1

дата загрузки: 03.06.2017 19:34:48
пользователь: 3gpabbu4ejj@mail.ru / ID: 4644783
отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат»
на сайте <http://www.antiplagiat.ru>

Информация о документе

№ документа: 1
Имя исходного файла: Магистерская_Палатов_1_.doc
Размер текста: 1063 кБ
Тип документа: Не указано
Символов в тексте: 31376
Слов в тексте: 3425
Число предложений: 195

Информация об отчете

Дата: Отчет от 03.06.2017 19:34:48 - Последний готовый отчет
Комментарии: не указано
Оценка оригинальности: 95.96%
Заимствования: 4.04%
Цитирование: 0%



Оригинальность: 95.96%
Заимствования: 4.04%
Цитирование: 0%

Источники

Доля в тексте	Источник	Ссылка	Дата	Найдено в
1.45%	[1] Предмет и задачи космической навигации (КН) (стр. 19) pandia.ru	http://pandia.ru	09.07.2016	Модуль поиска Интернет
1.4%	[2] Предмет и задачи космической навигации (КН) (стр. 22) pandia.ru	http://pandia.ru	09.07.2016	Модуль поиска Интернет
0.98%	[3] антонович к.м. использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. часть 1. (2005).pdf	http://inethub.olvi.net.ua	раньше 2011 года	Модуль поиска Интернет